

III-469

初期間隙比の異なる粘性土の圧縮特性の統一的表現

運輸省港湾技術研究所 正会員 土田 孝

1. 粘性土の $e - \log p$ 関係における基準曲線

筆者は、粘性土の圧縮特性について間隙比 e (または体積比 $f = e + 1$) と圧密圧力 p における基準曲線という考え方を提案している^{1), 2)}。基準曲線は初期間隙比やセメンテーション構造、試料の乱れなどによらず、圧密圧力をどんどん増加させた場合に最終的に収束する $e - \log p$ 関係であり、ほぼ粘性土の液性限界によって決まり、体積比を用いて次のように表される。

$$\log_e f = -C \cdot (\log_{10} p + 1) + \log_e f_{0.1} \quad (\text{ただし, } f_{0.1} \text{ は } p = 0.1 \text{ kgf/cm}^2 \text{ の時の } f, C \text{ は定数}) \quad (1)$$

$$C = 0.0027w_L + 0.1 \quad (2),$$

$$f_{0.1} = 0.042w_L + 0.75 \quad (3)$$

実際の粘性土では、初期間隙比やセメンテーション構造、試料の乱れの影響があるため通常の圧密試験によって得られる $f - \log p$ 関係が基準曲線に収束するには、圧密降伏圧力の3~4倍以上まで圧密する必要がある。したがって、最終的に収束する基準曲線の形状そのものは実務的にはあまり役に立たない。そこで、今回初期間隙比の影響を考慮した新たな基準曲線を提案する。以下に、これまで提案してきた基準曲線を第1基準曲線、本報告で提案する初期間隙比によって変化する基準曲線を第2基準曲線と呼ぶ。

2. 初期含水比が異なるときの基準曲線(第2基準曲線)

図1は、異なった初期間隙比で練り返した試料を室内で圧密したときの $e - \log p$ を模式的に表したものである。図のように、初期間隙比が大きいくほど $e - \log p$ 関係は上方にシフトし、最終的には同様の $e - \log p$ 関係に収束する。この最終的に収束する関係が第1基準曲線である。初期間隙比の影響を考慮した基準曲線を求めるには次のような考え方をを用いた。

図2において初期間隙比を e_0 とし、第1基準曲線において e_0 に相当する有効圧密圧力を p_0^* とする。 e_0 で練り返された状態でも試料は何かしらの有効応力 p_0 を保持しているはずである。第1基準曲線上における強度増加率を (s_u/p) とすると、この時の強度は $(s_u/p) \cdot p_0^*$ である。練り返しによって強度が低下するため、鋭敏比を s_t とすると、練り返された状態での強度は $((s_u/p) \cdot p_0^*) / s_t$ となる。奥村³⁾によると、練り返された状態では有効応力と強度の比はほぼ1に近いので、このときの有効応力も $((s_u/p) \cdot p_0^*) / s_t$ であると考えられる。奥村は、乱れの影響を評価するパラメータとして、攪乱前の有効応力に対する乱されたあとの有効応力の比で定義される攪乱比を提案した⁴⁾。この考え方をを用いると e_0 で練り返された状態での攪乱比 R は、

$$R = p_0 / \{ (s_u/p) \cdot p_0^* / s_t \} = s_t / (s_u/p) \quad (4)$$

で表される。たとえば、強度増加率 $(s_u/p) = 0.3$ 、鋭敏比 $s_t = 30$ の場合、攪乱比は100である。すなわち、初期含水比 e_0 で圧密することは、(4)式で与えられる攪乱比で攪乱した状態から圧密を実施することであると考えることができる。奥村は、攪乱比 R で整理することによって、乱れが

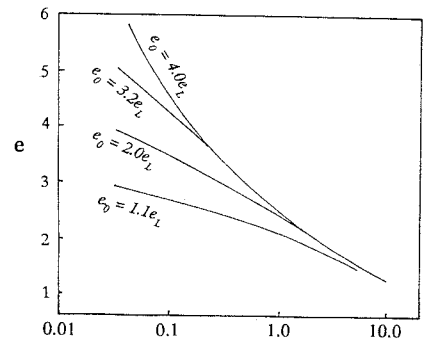


図1 圧密圧力(kgf/cm²)
初期間隙比が $e - \log p$ 曲線に及ぼす影響

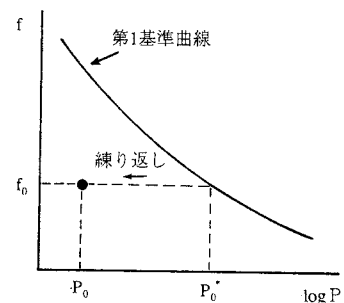


図2 基準曲線と初期間隙比の関係

圧密時の $e - \log p$ 関係に及ぼす影響を統一的に表すことができることを実験によって明らかにした³⁾。具体的には、初期有効応力 p_0 、攪乱比 R である粘土を圧密したときに、乱れが無いときの $e - \log p$ 関係に対する間隙比の低下割合は、次式で定義される再圧密比 RCR によって決まるとされている。

$$RCR = \log(p/p_0) / \log R \quad (5)$$

ここに p は圧密圧力である。 RCR は、攪乱前の有効応力まで再圧密したときに 1 になり、攪乱前の有効応力の R 倍まで再圧密したときに 2 になる。奥村によると $e - \log p$ 関係が完全に攪乱前の状態に復帰するためには、 RCR がほぼ 2 になるまで圧密する必要がある。図 3 (a) は、基準曲線からの体積比 f の低下量が圧密圧力の増加とともに減少する傾向を模式的に示している。図で $\Delta(\log f)_0$ は初期状態における体積比の差であり、 $\Delta(\log f)$ は圧密後の体積比の差である。奥村の実験結果にもとづき、乱れが無いときの基準曲線の $e - \log p$ 関係からの体積比の低下率 $r_f = \Delta(\log f) / \Delta(\log f)_0$ と再圧密比の関係を次のように仮定した。

$$r_f = 0.16 \cdot (RCR - 2.5)^2 \quad (RCR \leq 2.5) \\ r_f = 0 \quad (RCR > 2.5) \quad (6)$$

図 3 (b) に (6) 式を示すが、再圧密比が 2.5、すなわち圧密を p_0 の $R^{2.5}$ 倍まで実施したときに $e - \log p$ 関係は完全に基準曲線に復帰することを意味している。

初期体積比 f_0 に対応する基準曲線上の有効応力 p_0^* は (1)～(3) 式より、

$$p_0^* = 0.1 \cdot (f_0 / f_{0.1})^{-2.303/C} \quad (7)$$

と求められる。初期の有効応力 p_0 は $p_0 = p_0^* / R$ となり、図 3 における $\Delta(\log f)_0$ は

$$\Delta(\log f)_0 = 0.434 \cdot C \cdot \log_e R \quad (8)$$

である。(1)～(8) 式より、初期間隙比 f_0 のときの $e - \log p$ 関係 ($RCR \leq 2.5$) は次のように表される。

$$\log_e f = -C \cdot (\log_{10} p + 1) + \log_e f_{0.1} - 0.0694 \cdot C \cdot \log R \cdot (\log_e(p/p_0) / \log_e R - 2.5)^2 \quad (9)$$

(9) 式は液性限界 w_L と鋭敏比 s_i 、強度増加率 s_u/p をパラメータとして、任意の初期体積比 f_0 で練り返された試料の $e - \log p$ 曲線を表す式である。図 4 に、 $w_L = 100\%$ 、 $s_i = 30$ 、 $s_u/p = 0.3$ の試料に対して初期含水比を 100%、150%、200%、300%、800% としたときの、(9) 式から得られる $e - \log p$ 関係を示した。図で示された結果は、既往の実験結果の傾向をよく表していると考えられる。

参考文献

- 1) 土田孝(1991): 第26回土質工学研究発表会, pp. 341-344.
- 2) 土田孝(1992): 第27回土質工学研究発表会, p. 405-408.
- 3) 奥村樹郎(1974): 粘土の攪乱とサンプリング方法の改善に関する研究, 港湾技研資料, No. 193.

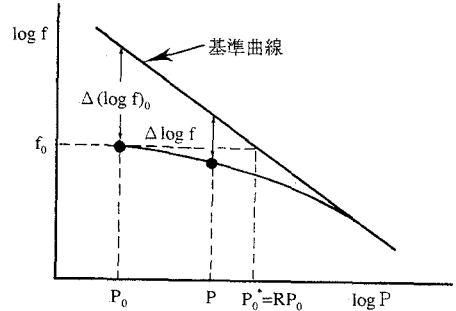


図 3 (a) 攪乱後再圧密した時の $e - \log p$ 曲線

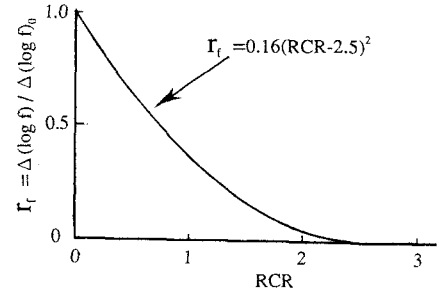


図 3 (b) 再圧密比と体積比の低下割合の関係

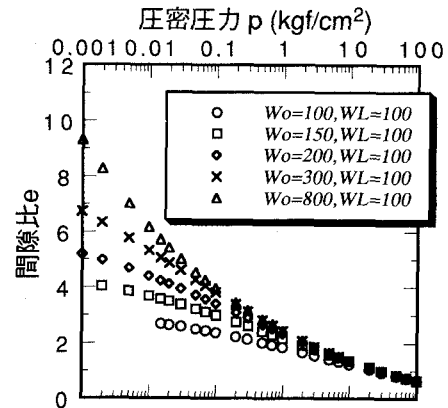


図 4 計算例 ($w_L = 100\%$)